

## **TUGAS AKHIR**

# **PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061 DENGAN METODE *DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING***



Disusun sebagai Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Progam Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Oleh:

**EKO PRASETYO**

**NIM : D 200170017**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**2019**

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul **"Pengaruh Kecepatan *Spindle* Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Aluminium 6061 Dengan Metode *Double Side Friction Stir Welding*"** yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapat gelar sarjana di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Disetujui pada

Hari

Jumat

Tanggal

23 Agustus 2013

Surakarta, 23 Agustus 2013

Yang Menyatakan,



EKO PRASETYO  
D200170017



## HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir berjudul "**Pengaruh Kecepatan *Spindle* Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Aluminium 6061 Dengan Metode *Double Side Friction Stir Welding***" telah disetujui Pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **EKO PRASETYO**

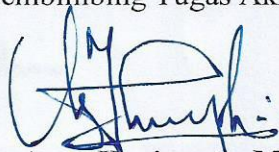
NIM : **D200170017**

Disetujui pada

Hari : Jumat

Tanggal : 23 Agustus 2019

Pembimbing Tugas Akhir



**Ir. Agus Hariyanto, M.T.**


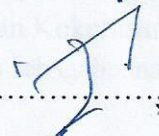
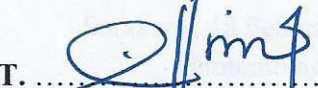


## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir berjudul "**Pengaruh Kecepatan *Spindle* Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Aluminium 6061 Dengan Metode *Double Side Friction Stir Welding***" telah dipertahankan di hadapan tim penguji dan dinyatakan sah untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :  
Nama : **EKO PRASETYO**  
NIM : **D200170017**

Disahkan pada  
Hari : **Rabu**  
Tanggal : **04 September 2019**

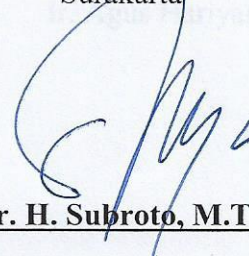
Dewan Penguji :  
Ketua : **Ir. Agus Hariyanto, M.T.**   
Anggota 1 : **Ir. Sunardi Wiyono, M.T.**   
Anggota 2 : **M. Alfatih H. S.T., M.T.** 

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah  
Surakarta



**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM.**

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah  
Surakarta

  
**Ir. H. Subroto, M.T.**



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
Jl.A.Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Telp (0271) 717417 ps 222

---

**LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR**

Berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nomor 023/II/2019 tanggal 13 Februari 2019 tentang Pembimbing Tugas Akhir dengan ini:

Nama : Ir. Agus Hariyanto, M.T.

Pangkat / Jabatan : Dosen Teknik Mesin

Sebagai Pembimbing Tugas Akhir memberikan soal tugas akhir kepada mahasiswa :

Nama : Eko Prasetyo

No Induk : D200170017

Jurusan/Semester : Teknik Mesin/Akhir

Judul/Topik : Pengaruh Kecepatan *Spindle* Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik  
Pada Pengelasan Aluminium 6061 Dengan Metode *Double Side Friction Stir Welding*

Rincian Soal/Tugas : - Sudut *Spindle* 87°  
- Kecepatan *Spindle* : 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm  
- Aluminium Seri 6061, Tebal 3mm  
- Pengujian Fisik : 1. Komposisi Kimia  
2. Struktur Mikro  
- Pengujian Mekanik : 1. Pengujian *Bending*  
2. Pengujian Kekerasan *Vickers*

Demikian soal tugas akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 18 Februari 2019  
Pembimbing

Ir. Agus Hariyanto, M.T.

*Keterangan :*

*Dibuat Rangkap Tiga (3)*

1. Untuk Kajur ( Koordinator TA )
2. Untuk Pembimbing Tugas Akhir
3. Untuk Mahasiswa

## MOTTO

*“Ingatlah Allah saat hidup tak berjalan sesuai keinginanmu, Allah pasti punya jalan yang lebih baik untukmu”*

(Anonim)

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”*

(QS. Al-Insyirah,6-8)

*“Allah SWT tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”*

( Q.S. Al-Baqarah : 286 )

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan khusus kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta, terima kasih atas kasih sayang semua nasehat-nasehat, dukungan yang telah diberikan, karena itulah penulis sampai saat ini mampu menyelesaikan kuliah ini.



**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* TERHADAP SIFAT FISIK  
DAN SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN ALUMINIUM 6061  
DENGAN METODE *DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING***

**ABSTRAK**

*Aluminium adalah salah satu material yang memiliki sifat mampu las yang buruk, karena terdapat lapisan oksida pada permukaan aluminium yang membuatnya sulit untuk dilas. Hal ini dapat diatasi dengan pengelasan solid state welding, yaitu proses pengelasan yang dilakukan saat logam dalam kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya. Salah satu jenis pengelasan solid state welding adalah friction stir welding (FSW). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fisik dan mekanik pada sambungan las dengan cara pengujian bending, pengujian kekerasan vickers, dan pengamatan struktur mikro.*

*Pengelasan pada penelitian ini menggunakan aluminium seri 6061 dengan tebal 3mm, dengan jenis sambungan double side square butt joint. Dibuat dengan variasi kecepatan spindle 1320 rpm, 1750 rpm, dan 2220 rpm, dengan feed rate konstan 24 mm/menit dan tilt angle 3°.*

*Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa nilai kekuatan bending tertinggi terjadi pada variasi 1320 rpm sebesar 252,51 MPa. Nilai kekerasan pada area weld nugget tertinggi juga terdapat pada variasi 1320 rpm sebesar 49,3 HV. Hal ini disebabkan gesekan antara tool dengan material pada variasi 1320 rpm lebih sedikit sehingga panas yang diterima lebih kecil. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan daerah HAZ mengalami perubahan butiran menjadi sedikit lebih besar dan daerah weld nugget mengalami perubahan butiran lebih besar dan merata bila dibandingkan daerah base metal.*

***Kata Kunci :*** *Friction Stir Welding, Double side square butt joint, Aluminium 6061*



***EFFECT OF ROTATIONAL SPEED TO PHYSICAL AND  
MECHANICAL CHARACTERISTIC ON ALUMINIUM 6061'S WELDING  
WITH DOUBLE SIDE FRICTION STIR WELDING METHOD***

**ABSTRACT**

*Aluminum is one of material have bad weldability, because of the oxide layer appear on the aluminum surface and make it hard to welding. The problem of aluminum can be overcome with solid state welding, that is welding process which is conducted when metal on the solid condition or metal didn't reach melting point. Such as solid state welding is friction stir welding (FSW). This research is aiming to find physical and mechanical characteristic on weld joint using bending test, vickers hardness test, and micro structure observation.*

*Welding process on this research is using aluminum 6061 series with 3mm thickness, joint type using double side square butt joint. Various of spindle speed is 1320 rpm, 1750 rpm, and 2220 rpm, with constant feedrate 24 mm/minute and tilt angle 3°.*

*The result of bending test shows the highest flexural strength is on 1320 rpm which is 252.51 MPa. The highest hardness number on weld nugget is on 1320 rpm which is 49.3 HV. It caused friction of tool and material on 1320rpm is less, so the thermal input for 1320 rpm is less too. The result of micro structure observation is shows the HAZ zone has been change grain structure bigger than base metal and weld nugget zone has been change grain structure biggest than base metal.*

***Keywords :*** Friction Stir Welding, Double side square butt joint, Aluminum 6061

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir berjudul **“Pengaruh Kecepatan Spindle Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Aluminium 6061 Dengan Metode Double Side Friction Stir Welding”** dapat terselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

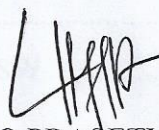
1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, M.T.,Ph.D.,IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. H. Subroto, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. Agus Hariyanto, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan masa perkuliahan.
5. Ayah, ibu, adik, dan teman yang selalu senantiasa memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

*Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Surakarta, 23 Agustus 2019

Penulis,



EKO PRASETYO  
D200170017

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR .....	v
LEMBAR MOTTO .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Kajian Pustaka .....	4
2.2 Landasan Teori.....	4
2.2.1 <i>Friction Stir Welding</i> .....	4
2.2.2 Parameter Pengelasan <i>Friction Stir Welding</i> .....	6
2.2.3 Aliran Material .....	9
2.2.4 Pembagian Zona Pada Struktur Mikro FSW.....	10
2.2.5 Aluminium .....	11
2.2.6 Aluminium 6061 .....	13



2.2.7 Pengujian Spesimen .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	24
3.2 Tempat Penelitian .....	25
3.3 Persiapan Bahan.....	25
3.4 Peralatan Proses Pengelasan dan Pembuatan Spesimen .....	26
3.5 Peralatan Pengujian Spesimen .....	28
3.6 Parameter Pengelasan yang digunakan .....	30
3.7 Proses Pengelasan .....	31
3.8 Pengujian Spesimen Hasil Pengelasan .....	32
3.8.1 Pengujian <i>Bending</i> .....	32
3.8.2 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	34
3.8.3 Analisa Struktur Mikro .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Pengujian Komposisi Kimia .....	39
4.2 Pengujian <i>Bending</i> .....	40
4.3 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	45
4.4 Analisa Struktur Mikro .....	48
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema FSW dalam konfigurasi <i>butt joint</i> .....	5
Gambar 2.2. Jenis Sambungan <i>Friction Stir Welding</i> .....	6
Gambar 2.3. <i>Tool Joint</i> .....	7
Gambar 2.4. Contoh Jenis Kontur <i>Shoulder</i> .....	7
Gambar 2.5. Contoh Jenis Profil Pin .....	7
Gambar 2.6. Hubungan putaran tool dengan temperatur .....	8
Gambar 2.7. <i>Tool Tilt Angle</i> .....	9
Gambar 2.8. <i>Depth Plunge</i> .....	9
Gambar 2.9. <i>Advancing Side</i> dan <i>Retreating Side</i> .....	10
Gambar 2.10. Skema penampang potongan melintang FSW .....	10
Gambar 2.11. Pantulan sinar pada pengamatan struktur mikro .....	16
Gambar 2.12. Struktur mikro al 6061 .....	16
Gambar 2.13. Indenter <i>Vickers</i> .....	17
Gambar 2.14. skema <i>three point bending</i> .....	18
Gambar 2.15. <i>Free Body Diagram</i> .....	19
Gambar 2.16. <i>Bending Momen Diagram</i> .....	19
Gambar 2.17. Gejala Luluh .....	22
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 3.2. <i>Base metal</i> .....	25
Gambar 3.3. <i>Tool joint</i> .....	26
Gambar 3.4. <i>Backing plate</i> .....	26
Gambar 3.5. Mesin milling .....	27
Gambar 3.6. Jangka sorong .....	27
Gambar 3.7. Gergaji .....	28
Gambar 3.8. Kikir .....	28
Gambar 3.9. Amplas kertas .....	28
Gambar 3.10. <i>Universal testing machine</i> .....	29
Gambar 3.11. <i>Vickers microhardness tester</i> .....	29
Gambar 3.12. Mikroskop metalografi .....	30

Gambar 3.13. proses pengelasan FSW .....	32
Gambar 3.14. Dimensi spesimen pengujian <i>bending</i> .....	33
Gambar 3.15. Spesimen pengujian <i>bending</i> .....	33
Gambar 3.16. Jarak antar tumpuan C .....	34
Gambar 3.17. Dimensi spesimen pengujian keras .....	35
Gambar 3.18. <i>mounting</i> spesimen .....	35
Gambar 3.19. spesimen pada ragum .....	36
Gambar 3.20. pengukuran diagonal d1 dan d2 .....	36
Gambar 3.21. pembacaan nilai kekerasan <i>vickers</i> .....	37
Gambar 3.22. Pengamatan struktur mikro .....	38
Gambar 4.1. Grafik momen <i>bending</i> .....	42
Gambar 4.2. Kurva tegangan regangan <i>bending</i> .....	43
Gambar 4.3. Grafik Kekuatan <i>bending</i> .....	44
Gambar 4.4. Grafik Modulus elastisitas <i>bending</i> .....	45
Gambar 4.5. area indentasi pengujian .....	46
Gambar 4.6. Grafik nilai kekerasan .....	47
Gambar 4.7. batas <i>base metal</i> , HAZ, dan <i>weld nugget</i> .....	48
Gambar 4.8. Foto mikro variasi 1320 rpm.....	48
Gambar 4.9. Foto mikro variasi 1750 rpm.....	49
Gambar 4.10. Foto mikro variasi 2220 rpm.....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Aluminium paduan .....	13
Tabel 2.2. Komposisi kimia Aluminium 6061 .....	14
Tabel 2.3. Komposisi cairan etsa untuk Al seri 6xxx .....	15
Tabel 3.1. Parameter Pengelasan .....	30
Tabel 4.1. Hasil pengujian komposisi kimia Aluminium 6061 .....	39
Tabel 4.2. Data hasil pengujian <i>bending</i> variasi kecepatan 1320 rpm.....	40
Tabel 4.3. Data hasil pengujian <i>bending</i> variasi kecepatan 1320 rpm.....	41
Tabel 4.4. Data hasil pengujian <i>bending</i> variasi kecepatan 1320 rpm.....	41
Tabel 4.5. Data hasil pengujian kekerasan <i>vickers</i> .....	46